ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CONVENTOS, EM ROCA SALES - RS

Fernando de OLIVEIRA [1]
Waterloo PEREIRA FILHO [2]

RESUMO

O conhecimento de um arroio e suas variáveis qualitativas e quantitativas têm emprego em diversas áreas, tais como, na construção de barragens hidrelétricas, no entendimento da dinâmica de um rio e suporte para um planejamento adequado. No presente trabalho, o Arroio Conventos, em Roca Sales, Rio Grande do Sul, foram identificadas as variáveis a seguir, conforme Christofoletti (1974): a) a hierarquia fluvial a partir dos métodos de Horton, Strahler, e Shreve; b) a análise linear da rede hidrográfica, identificando a relação de bifurcação dos canais, a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem e a extensão do percurso, c) a análise areal da bacia hidrográfica; d) a densidade hidrográfica, densidade de drenagem, e o coeficiente de manutenção; e) a análise hipsométrica. A avaliação foi feita com auxílio do aplicativo Spring 4.1 e de técnicas manuais de medição e quantificação da bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica analisada corresponde a uma área de drenagem de 47,65 quilômetros quadrados, possui forma triangular e amplitude altimétrica de 576 metros, a qual apresenta canal principal de 3ª ordem com magnitude 17 (indicando a existência de 17 canais de 1ª ordem) conforme Shreve e com 15 quilômetros de extensão. A relação de bifurcação entre canais de 1ª e 2ª ordem é 4,25, e a relação entre canais de 2ª e 3ª ordem é 4 sendo um número relativamente baixo em relação a bacia de grande escoamento. Já a relação entre o comprimento médio dos canais de 3ª e 2ª ordem é de 1,32, e a relação entre o comprimento dos canais de 2ª e 1ª ordem é 2,58, seguindo a composição da drenagem proposta por Horton, que indica uma ordenação entre os comprimentos médios de cada ordem segundo uma série geométrica direta. A distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente é 0,539 quilômetros, conforme a extensão do percurso superficial, indicando um razoável desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia. A declividade média do canal principal foi de 3,6%, a densidade hidrográfica de 0,4616 canais por km² e a densidade de drenagem (Dd) de 0,9275 quilômetro de canais por km², sendo considerada baixa, mostrando que esta bacia hidrográfica contém rios com extensões médias e rochas de granulometria também média, pois a Dd indica uma baixa esculturação do canal, isto é, de razoável infiltração. Por fim, pode-se dizer que a bacia do Arroio Conventos possui valores que, quando comparados com exemplos usados por Christofoletti (1974) indicam que ela não é muito vulnerável à erosão, o que nos mostra uma pequena infiltração e um maior escoamento das águas, o que não contribui para gerar novos leitos e formas dos canais.

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo analisar a bacias hidrográfica do Arroio Conventos, localizada no município de Roca Sales – RS, dentro das coordenadas 51°52'06" S – 51°45'28" S X 29°16'51" W – 29°20'36" W, através de metodologias e técnicas propostas por Christofoletti, Wisler e Brater, Horton, Strahler, entre outros, aplicados na disciplina de Hidrogeografia pelo Professor Doutor Waterloo Pereira Filho.

[1] Universidade Federal de Santa Maria, nando.oli.geo@mail.ufsm.br.
[2] Universidade Federal de Santa Maria, Professor Doutor, waterloo@base.ufsm.br.

A base teórica do presente trabalho leva em conta tanto questões de análise ligadas à Geomorfologia, quanto questões ligadas a Hidrologia, pois a pesquisa foi feita praticamente sobre dois autores, sendo eles Christofoletti e Wisler e Brater, tratando-se o primeiro de questões ligadas à Geomorfologia, e o segundo, à Hidrologia.

Conforme Christofoletti (1980, p. 102), os estudos relacionados às drenagens fluviais sempre foram salientes na Geomorfologia, e a análise dos canais de uma bacia pode levar à compreensão e ao esclarecimento de numerosas questões geomorfológicas, visto que os cursos d'água são um dos maiores transformadores da paisagem terrestre. O presente trabalho, porém, limita-se a fazer uma análise detida na quantificação da bacia, enfocando alguns aspectos qualitativos como a análise areal da bacia hidrográfica, aspectos esses que futuramente virão a auxiliar um estudo mais aprofundado em relação à Geomorfologia.

Quanto à Hidrologia, podemos dizer que a análise quântica de uma bacia hidrográfica se faz em relação à níveis de precipitação, escoamento superficial, análise de hidrógrafa e da drenagem em geral, não abordando aspectos da Geomorfologia como esculturação do relevo, erosão, formação de meandros, material sedimentar, entre outros.

Antes de tudo é interessante esclareçer alguns conceitos que serão enfocados neste trabalho, como o de bacia hidrográfica, que conforme Souza Pinto (1976, p. 38) "bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso de água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada". No contexto deste trabalho, têm-se a bacia como um conjunto de canais de primeira ordem que vêm a desaguar no canal principal a partir de canais de ordem superior, sendo o limite dela o divisor de águas com as bacias circunvizinhas. O divisor de águas, por sua vez, é "a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o total de água resultante para um ou outro sistema fluvial" (Leonino Júnior, 1964, p. 52). Relativo ao tema também, pode-se considerar que a análise de bacias hidrográficas teve como precursor Robert E. Horton, um engenheiro hidráulico que estabeleceu leis sobre o desenvolvimento dos rios e de suas respectivas bacias, sendo que este influenciou diversas pesquisas em âmbito mundial.

Visto isso, há neste trabalho uma sequência na análise da Bacia, começando com a hierarquia fluvial, onde se analisará questões de classificação propostas por Strahler e por Shreve, seguido da análise linear da rede hidrográfica, que consiste na relação de bifurcação, relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem e a extensão do percurso; a análise areal da bacia hidrográfica, sendo quantificadas a densidade hidrográfica, densidade de drenagem, e o coeficiente de manutenção dos canais, fechando com a análise hipsométrica.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Uma característica importante de qualquer bacia hidrográfica é o tipo e a disposição da drenagem, isto é, dos cursos d'água, pois estes vêm sendo desenvolvidos pela natureza dentro da área há muito tempo. A definição e o reconhecimento preciso dos cursos fluviais, nos mapas, nas fotografias aéreas ou no terreno, são questões fundamentais. Esta importância se dá de que a eficiência do sistema de drenagem e, portanto, as características da hidrógrafa resultante, que se dá na análise da vazão e da precipitação do canal, dependem deste fator, pois, por exemplo, se a bacia é bem drenada, a extensão do escoamento de saída é curta, o escoamento superficial concentra-se rapidament, os piques de inundação são altos e o fluxo mínimo correspondente é baixo. Resumidamente, tem-se que quanto mais eficiente for a drenagem, mais rápida é a vazão do curso d'água, e vice-versa.

A. Hierarquia Fluvial

Partindo então do princípio dos métodos de quantificação e qualificação de Bacia Hidrográfica, tem-se em primeiro lugar o estabelecimento da hierarquia fluvial, que consiste no processo de estabelecimento da classificação de um determinado curso de água, contribuindo para uma maior facilidade nos posteriores estudos morfométricos da bacia de drenagem, como por exemplo a análise linear, areal e hipsométrica. Vale enfatizar também que os diversos modos de ordenação sâo úteis porque propiciam maneira fácil e rápida de quantitativamente designar qualquer rio ou segmento fluvial em qualquer parte do mundo (Christofoletti, 1980, p. 109).

Existem diversas propostas para se determinar a ordem ou a hierarquia das bacias hidrográficas, sendo uma delas a de Robert A. Horton, que estabelece que os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem;os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordens. O canal principal, no método de Horton, o canal principal recebe o número de sua ordem do início ao fim dele.

No método proposto por Arthur N. Strahler, o qual foi utilizado nesta análise, temos o mesmo procedimento de qualificação de Horton, porém nesta o canal principal recebe em cada segemtno o número da sua respectiva ordem, sendo que o segmento final, ou quando da confluência de dois canais de mesma ordem inferiores, recebe o número de sua ordem apenas no trecho. Os métodos de Horton e Strahler são muito significativos em um sistema fluvial idealizado e regular, como em uma rede fluvial composta somente por confluências de rios de mesma ordem. Sobre o ponto de vista hidrológico, toda junção contribui para modificar a ordem do canal principalalterando suas propriedades dentro da rede e criando um novo segmento.

Existem ainda outros dois métodos para se determinar a ordem dos canais, porém estes mais ligados à magnitude da bacia hidrográfica, um método mais ligado à hidrologia para a definição da hierarquai fluvial. A magnitude então é o número correspondente ao número total de nascentes que são tributárias de um ligamento. O procediemento para estabelecer a magnitude de um rio é a seguinte, conforme Schreve: a) cada canal que vai desde a nascente até uma confluência (1ª ordem) tem magnitude 1; b) um canal resultante da união de dois canais tem como magnitude a soma da magnitude dos dois canais anteriores. A magnitude de um ligamento é igual ao número total de nascentes que lhe são tributárias. Esse procedimento visa a considerar que a entrada de um tributário de ordem inferior altera a ordem do rio principal, pois ele reflete a quantidade de canais de primeira ordem que contribui para a sua alimentação. Há ainda, na definição da magnitude da Bacia, as propostas de Adrian E. Scheidegger, o qual estabelece para canais de 1ª ordem a magnitude 1, ao invés de 2, ficando assim a magnitude final com o dobro do número, sendo esta a única diferença.

B. Análise Linear da Rede Hidrográfica

Indo em frente na análise da Bacia do Arroio Conventos, passa-se à análise linear da rede hidrográfica. Conforme base teórica dos métodos de Christofoletti, “na análise linear são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento.

A primeira das análises é a Relação de Bifurcação, definida por Horton como sendo a relação entre o número total de segemtnos de uma ordem (n) e o número total de segmentos de ordem imediatamente superior (n+1). Se utilizarmos o sistema de ordem dos rios de Strahler, esse resultado nunca pode ser superior a 2. A relação de bifurcação se calcula da seguinte forma:

$R_b = N_u / N_{u+1}$,

onde R_b é a Relação de bifurcação, N_u é o número de segmentos de determinada ordem, N_{u+1} é o número de segmentos da ordem imediatamente superior. A partir deste cálculo e com os resultados obtidos, Horton compôs uma de suas leis de drenagem que diz que "em uma determinada bacia, a soma dos números de canais de cada ordem firma uma série geométrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação".

A segunda análise proposta por Christofoletti é a da Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem, que segue paralelamente à análise da relação de bifurcação, porém com dados mais exatos e comprometidos com a realidade do sistema de drenagem da bacia hidrográfica. Para se fazer então a análise, é preciso primeiramente encontrar o comprimento médio dos canais de cada ordem, seguindo-se o cálculo da soma das distâncias percorridas por cada segmento fluvial até sua desembocadura em um canal de ordem superior, e dividindo esta soma pelo número de canais componentes desta ordem. Eis a fórmula:

$L_m = L_u / N_u$,

na qual L_m é o comprimento médio dos segmentos fluviais, L_u a soma da extensão destes segmentos e N_u o número de segmentos encontrados na respectiva ordem. Faz-se então o cálculo da relação do comprimento médio dos canais entre uma ordem e outra, dividindo-se o comprimento médio dos canais de certa ordem pelo comprimento médio de ordem imediatamente inferior. Na fórmula:

$RL_m = Lm_u / Lm_{u-1}$,

sendo RL_m a relação entre o comprimento médio das ordens, Lm_u o comprimento médio de canais de certa ordem e Lm_{u+1} o comprimento médio de canais de ordem imediatamente inferior. O cálculo de relação entre o comprimento médio dos canais dá uma indicação sobre a declividade da bacia, bem como o grau de drenagem. Isto porque temos que as áreas escarpadas bem drenadas geralmente apresentam numerosos tributários de pequena extensão, enquanto nas regiões mais planas, somente os tributários relativamente longos mantêm-se, graças ao solo mais profundo e permeável. Sendo assim, é preferível nas diversas bacias comparar a extensão média dos tributários da mesma ordem do que comparar a extensão média de todos os tributários.

Outra análise Linear da drenagem é a mensuraçõ do comprimento do canal principal, que seria a distância que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até determinada nascente. Existem diversos critérios que podem ser levados em conta na hora de definir qual o canal principal da rede hidrográfica, tratados por autores das áreas da geomorfologia e da hidrologia. Christofoletti (1980, p. 111) aponta os seguintes critérios: a) aplicar os critérios estabeleceidos por horton, pois o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal; b) em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude; c) em cada confluência, a partir da desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia; d) cursos de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos[3] . Analisando os critérios é possível perceber uma certa subjetividade no primeiro, pois para classificar o rio de ordem mais alta conforme Horton é preciso ter também o conhecimento de qual é o canal principal. Já o segundo critério pode trazer uma exatidão maior, visto que o canal principal é o de maior escoamento. O terceiro é vantajoso se o objetivo for o estudo altimétrico da bacia de drenagem. O quarto critério também se relaciona com os aspectos topológicos e morfométricos da Bacia. Estabelece-se que os resultados obtidos pelos diferentes critérios não apresentam grandes diferenças, porém em bacias hidrográficas pequenas estas diferenças podem ser significantes.

[3] Shreve, 1974, p. 1168 apud Christofoletti, 1980, p.111.

Uma quarta análise linear pode ser feita em relação à Extensão do percurso superficial, uma análise bastante hidrológica que representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal de escoamento, sendo os resultados desta análise uma das variáveis mais importantes no sentido de análise do desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia. Sob olhos hidrológicos, Wisler e Brater (1959 apud Júnior, 1964, p.48) enfatizam o escoamento superficial ao dizerem que "o volume dtotal de água transportado pelo canal de um curso d'água é formado pelo escoamento superficial e pelo fluxo de água do solo". Para calcular a extensão do percurso superficial é necessário o uso de uma variável da análise areal das bacias hidrográficas, que é a Densidade de drenagem, que será exposta posteriormente neste trabalho. A fórmula se dá da seguinte forma:

Eps = 1 / 2Dd

onde Eps seria a extensão do percurso superficial, e Dd seria a densidade de drenagem. Analisando a fórmula, temos que a extensão do percurso superficial equivale aproximadamente à metade do recíproco do valor da densidade da drenagem.

C. Análise Areal das Bacias Hidrográficas

Conforme Júnior (1964, p.48), "a área da bacia de drenagem é considerada como sendo a que contribui para o escoamento superficial e é delimitado pelo divisor topográfico", que seria o divisor de águas. Visto isso, define-se que na análise areal das bacias hidrográficas estão englobados vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares.

Primeiramente tem-se a área da bacia como índice principal, tendo de ser medida toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetado em plano horizontal. Os limites desta área são delimitados pelo divisor de águas, que é baseado em técnicas cartográficas de delimitação da bacia hidrográfica. Esta medição é feita através de diversos métodos, como o uso do Planímetro, através da pesagem, uso de papel milimetrado, mensuração através de formas geométricas, uso de aplicativos computacionais, mesa digitalizadors, entre outras. A técnica utilizada neste trabalho foi inicialmente a medição da área através da mesa digitalizadora, sendo depois substituída pela medição de um aplicativo gráfico.

Uma segunda análise a ser feita sobre a bacia hidrográfica é a Forma da bacia. Esta por sua vez é mais qualitativa do que quantitativa, porém para se estabelecer a forma exata, há de se fazer cálculos exatos. A forma de uma bacia hidrográfica, conforme Júnior (1964, p.52), influi principalmente sobre a proporção com que a água é fornecida ao rio principal, durante o seu percurso da nascente à foz. Esse fato serve de base importante para a utilização econômica do curso d'água, bem como para seu perfil e dimensões de seu canal. A forma da bacia foi criada sobretudo para eliminar a subjetividade na caracterização das formas da bacia. Várias alternativas de cálculo existem para esta eliminação, como o índice de circularidade, que é a divisão da área da bacia pela área do círculo resultante de uma área circular com perímetro equivalente ao da bacia; há também outra forma de estabelecer a forma da Bacia, sendo a seguinte: após a delimitação da bacia, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc.) que possa cobrir da melhor maneira possível a Bacia. Após isso, compara-se as áreas da bacia e da figura geométrica a fim de estabelecer um índice, sendo que este é mais parecido com o da forma da bacia quanto mais próximo for a zero.

Ligado à análise da forma da bacia, há o fator de forma[4], que dá alguma diversificação sobre a tendência à inundações, porque em uma bacia, há menor probabilidade de ocorrer uma precipitação intensa que cubra toda sua extensão do que em uma área de dimensões iguais mas cujo fator de forma seja maior.

[4] O Fator de Forma seria a relação entre a largura média e o comprimento do eixo da bacia. O termo foi proposto por Gravelius (Flusskunde, Berlin; Leipzig, 1914).

Ainda na análise areal da Bacia, temos o cálculo da densidade de rios, ou densidade hidrográfica, que estabelece a quantidade de canais ou cursos d'água das diferentes ordens dentro da área da bacia. Sua finalidade é comparar a quntidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão. A fórmula então, é:

Dr = N / A

onde Dr compreende a Densidade de rios, N o número total de rios ou cursos d'água, e A a área da bacia hidrográfica. Hidrologicamente, a densidade de rios investiga a qualidade da drenagem da bacia hidrográfica quando analisada a quantidade de rios por quilômetro quadrado, por exemplo. Já em aspecto geomorfológico, o cálculo de rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico de detreminada área, em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos rios.

A última medida feita dentro da análise areal é a Densidade de drenagem, já utilizada anteriormente para calcular a Extensão do percurso superficial da Bacia. A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Segundo Christofoletti, a densidade de drenagem é imprtante pois dentro de um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrológico das rochas reprercute na densidade de drenagem. Nas rochas onde a infiltração encontra maior dificuldade há condições melhores para o escoamento superficial, gerando possibilidades para a esculturação de canais, como entre as rochas clésticas de granulação fina, e, como conseqüência, densidade de drenagem mais elevada. Logo, o cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. Isto é, quanto mais aumenta a densidade, há diminuição do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

D. Análise Hipsométrica

Conforme Christofoletti (1980, p. 117) a hipsometria peocupa-se em estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distibuição em relação às faixas altitudinauis, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base, isto é, dentro de um intervalo altimétrico.

São avaliados neste trabalho duas variáveis altimétricas: em primeiro lugar a linha hipsométrica, que indica a inclinação da curva do rio em relação ao seu comprimento; e em segundo lugar a amplitude altimétrica máxima da bacia, que corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura do canal principal e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisão topográfica. Os resultados obtidos são importantes para analisar a facilidade de escoamento da Bacia, assim como e declividade das vertentes e a capacidade da drenagem.

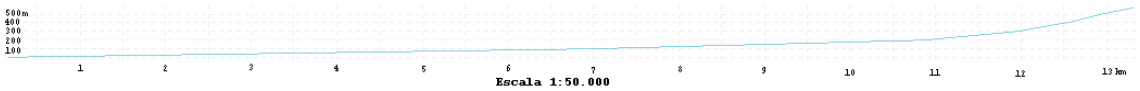

Figura 1. Curva hipsométrica do Arroio Conventos.

RESULTADOS

A bacia hidrográfica do Arroio conventos, em Roca Sales – Rio Grande do Sul, corresponde a uma área de drenagem de 39,426 quilômetros quadrados conforme medição feita por aplicativo gráfico. Conforme propostas de caracterização da forma da bacia, chega-se a conclusão que a Bacia em análise possui forma triangular. Dentro das medidas lineares e da análise linear temos uma bacia de 3ª ordem com magnitude 17 (indicando a existência de 17 canais de 1ª ordem), visto que a técnica de definição da ordem dos canais utilizada foi a proposta por Shreve, e a de definição da magnitude foi conforme Shreve. O canal principal

foi mensurado via aplicativo gráfico e totalizou 13,183 km quilômetros de extensão. A relação de bifurcação entre canais de 1ª e 2ª ordem é 4,25, e a relação entre canais de 2ª e 3ª ordem é 4, sendo um número relativamente baixo em relação a uma bacia de grande escoamento. Já a relação entre o comprimento médio dos canais de 3ª e 2ª ordem é de 1,32, e a relação entre o comprimento dos canais de 2ª e 1ª ordem é 2,58, seguindo a composição da drenagem proposta por Horton, que indica uma ordenação entre os comprimentos médios de cada ordem segundo uma série geométrica direta. A distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente é 0,539 quilômetros, conforme a extensão do percurso superficial, indicando um razoável desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia. A densidade hidrográfica, ou densidade de rios, foi de 0,4616 canais por km², indicando uma drenagem boa da bacia. A densidade de drenagem (Dd) de 0,9275 quilômetros de canais por km² indica tributários compridos, pois a densidade de drenagem sendo considerada baixa, informa um comprimento significativo dos canais, mostrando que esta bacia hidrográfica contém rochas de granulometria média, pois a Dd indica uma baixa esculturação do canal, isto é, de razoável infiltração. Por fim, pode-se dizer que a bacia do Arroio Conventos possui valores que indicam que ela não é muito vulnerável à erosão, o que nos mostra uma pequena infiltração e um maior escoamento das águas, o que não contribui para gerar novos leitos e formas dos canais. Quanto à questão da utilização econômica da bacia hidrográfica, percebe-se que ela não é de grande conveniência, pois sua forma não contribui para um bom escoamento das águas superficiais. Esta afirmação também se baseia na altimetria da bacia, pois por não ter grande área envolvida por vales profundos, não haveria grande alagamento de um possível lago de uma usina hidroelétrica. Abaixo segue a representação cartográfica da Bacia do Arroio Conventos, com curvas de nível de 100 em 100 metros. Dentro da análise hipsométrica, temos uma declividade média do canal principal de 3,6%, e uma amplitude altimétrica de 576 metros.

REFERÊNCIAS

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

JÚNIOR, L. Hidrologia. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964. Do original: WISLER, C. O.; BRATER, E. F. Hydrology. New York: John Wiley & Sons, 1959.

LAJEADO. Folha SH.22-V-D-II-3. Brasil: Diretoria de Serviço Cartográfico, 1985. 1 mapa. Escala: 1:50.000.

SOUZA PINTO, N. L. de. Hidrologia Básica. São Paulo: Edgard Blucher; Rio de Janeiro: Fundação Nacional de Material Didático, 1976.

ANEXO

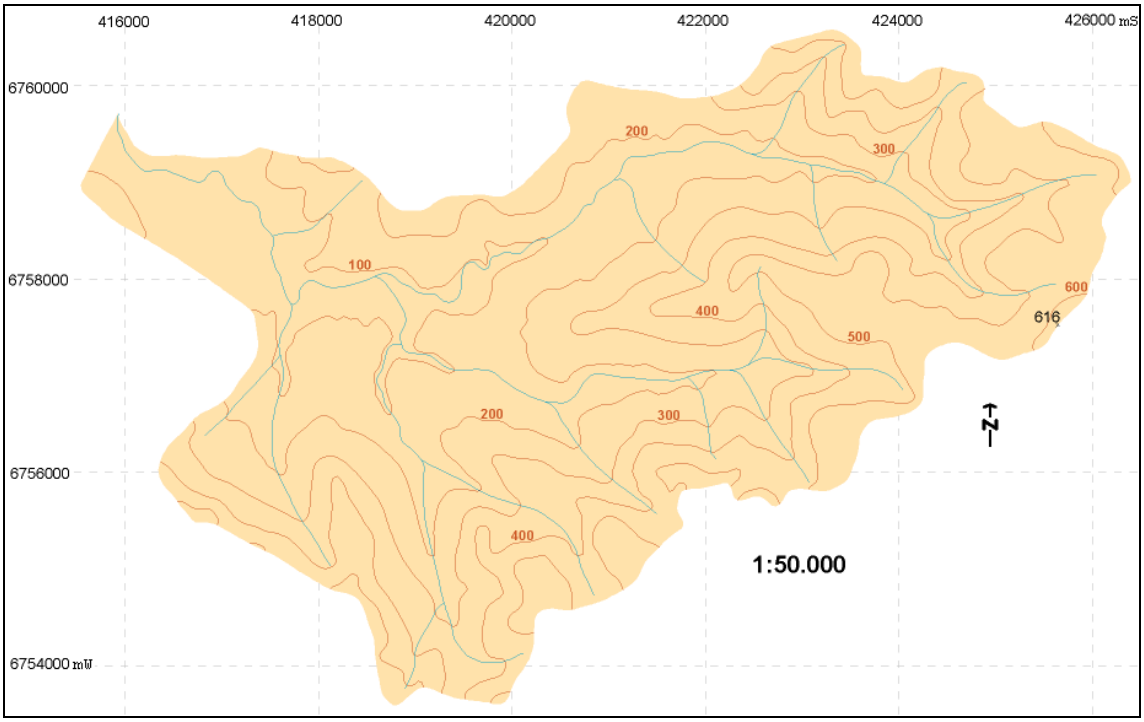

Figura 2. Bacia Hidrográfica do Arroio Conventos.